



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
UNIDAD DE APRENDIZAJE  
"SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA Y RIEGO"



DIAPORAMA: CALIDAD DEL AGUA PARA IRRIGACION  
PRESENTA:  
DR. EN AG. ANGEL SOLIS VALENCIA



Septiembre de 2018







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



## IX. ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

UNIDAD I. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO

UNIDAD II. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

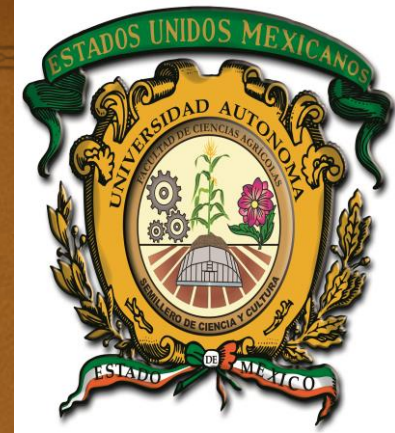
UNIDAD III. METODOS DE RIEGO

UNIDAD IV. ANÁLISIS DE COSTOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



El presente diaporama apoya a:



## UNIDAD II. NECESIDADES HIDRICAS DE LOS CULTIVOS

Objetivo. lámina de riego, uso consuntivo, lamina neta y bruta, así como la lámina de agua retenida por el suelo.

del programa: SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA Y RIEGO 2014



**La calidad del agua de riego influye sobre la permeabilidad del suelo y en la lamina del riego, ésta no solo depende de la relación de sodio, calcio y magnesio, sino también de iones bicarbonatos y carbonatos porque ocasiona la precipitación de calcio y magnesio y en consecuencia, a la disminución de la concentración de estas y el aumento del sodio favoreciendo la degradación del suelo, es decir la dispersión de los agregados, pérdida de la estructura y de su permeabilidad.**

# ÍNDICES DE PRIMER GRADO



# pH

---

pH. No es de importancia en la clasificación.

**Los límites normales son de 7 – 8.**

**Cuando se reportan valores mayores a estos, se puede deber a la presencia de residuos industriales.**

# CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La conductividad eléctrica representa la concentración total de sales que tiene el agua, sales que dan lugar a una presión osmótica (PO) de la solución.

Es decir, cuanto más elevada sea la concentración de sales en el agua de riego, será mayor la presión osmótica de la solución del suelo.

Dificultando la adsorción del agua y nutrientes por el sistema radical.

Además se acumulan sales en los estratos originando la salinización del suelo.



# **VALORES CRÍTICOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) DEL AGUA PARA RIEGO**

<b>CE micromhos/cm a 25°C</b>	<b>Restricciones de uso</b>
<b>&gt; 1500 – 2000</b>	<b>Riesgo de salinidad del suelo</b>
<b>&gt; 1500 – 2000</b>	<b>Riego por aspersión no recomendable. Quemadura en las hojas de los cultivos y daños en la instalación</b>
<b>&gt; 2000 - 2500</b>	<b>El riego por surcos es poco recomendable, fuerte acumulación de sales en la zona radicular de los cultivos</b>



## CONTENIDO TOTAL DE SALES

Cuando la cantidad de sales presentes en el agua es muy solubles o ionizable, se ha comprobado que se cumple con la siguiente relación;

$$CT = 0.64 \times CEx10^6$$

**CT = concentración de sales totales  
(ppm)**

**CEx10<sup>6</sup> = conductividad eléctrica en  
micromhos/cm**

## Ejemplo:

- El análisis reporta:
- $CE \times 10^6 = 660$  micromhos/cm

Entonces:

$$660 \times 0.64 = 422.4 \text{ ppm}$$

= 0.422 g de sales  
totales/L



**Donde:**

• ppm = mg por mil gramos y tratandose de agua se puede admitir que 1 000 gramos equivale a 1 litro, luego ppm = mg/litro.

El contenido total de sales puede ser peligroso cuando rebasa a 1 g/L.

Se recomienda aplicar sobrierriegos cuando el agua presenta un elevado valor de conductividad eléctrica.

## Presión Osmótica (PO)

•La relación funcional que existe entre la conductividad eléctrica y la presión osmótica es:



$$PO = 0.36 \times CE \times 10^3$$

donde:

- PO= presión osmótica en atmósferas
- CE x 10<sup>3</sup>= conductividad eléctrica en milimhos/cm a 25°



**•Ejemplo:**

$$CEx10^3 = 0.660 \text{ milimhos/cm}$$

**•Entonces:**

$$PO = 0.36 \times 0.660 = 0.2376 \text{ atmósferas}$$

# IONES

Se encuentra en cantidad pequeña en el agua, su importancia radica en aportar este nutriente al suelo



Considerando que:

$$\text{me/l} = \frac{\text{ppm}}{\text{Peso específico del ion (Pe)}}$$

Entonces:

$$\text{ppm} = \text{me/l} \times \text{Peso específico (Pe)}$$



# POTASIO

## Ejemplo

El análisis reporta:  $K = 0.5 \text{ me/L}$

De la fórmula anterior despejando ppm:

$\text{ppm} = \text{me/L} \times \text{Peso específico del elemento}$

$$\text{ppm} = 0.5 \times 39.1 \text{ g}$$

$$\text{ppm} = 19.55$$

$$\text{ppm} = 0.0195 \text{ g/L}$$

Suponiendo que se conoce la dosis de riego de  $1000 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Lámina de riego bruta de  $10 \text{ cm}$ ), se puede calcular la aportación por riego y anual de potasio al suelo

## **A) Cantidad de K que se incorpora en un riego**

$$0.0195 \text{ g/L} \times 1\,000\,000 \text{ L/riego} \times \text{ha} = 19\,500 \text{ g/ha-riego}$$

**O bien**



$$19.5 \text{ kg/ha-riego}$$

**Si la eficiencia del riego es de 65%, significa que habrá un 35% de agua que no quedará retenida en el suelo (por coleo, evaporación y percolación profunda), la cantidad real de K<sup>+</sup> que se incorpora en cada riego es:**

$$\begin{aligned} &0.65 \times 19.5 \text{ kg/ha-riego} \\ &= 12.675 \text{ kg/ha-riego} \end{aligned}$$

**B) Cantidad de K incorporada en un año (9 riegos):**

**9 riegos/año x 12.675 kg/ha-riego**



**= 114. 075 kg/ha-año**

**El agua puede cubrir las necesidades teóricas de potasio de varios cultivos.**

**Puede ser esta la razón por la que los agricultores no aplican abonos potásicos al suelo.**



# **CLORURO (Cl<sup>-</sup>)**

**Los límites de tolerancia para aguas de riego es 0.5 a 0 8 g/l de cloruro, depende del tipo de suelo a regar.**

**Al rebasar estos límites los cultivos son afectados de clorosis foliares en las partes más iluminadas, que pueden degenerar en necrosis de los bordes foliares.**

# **SODIO ( $\text{Na}^+$ )**

**Concentraciones superiores a 0.2 ó 0.3 g/l de sodio en aguas de riego son responsables de toxicidad en los cultivos.**

# SULFATO ( $\text{SO}_4^{+}$ )



**Concentraciones del orden de 6.25 a 8.35 me/l o bien 300 - 400 mg/l de sulfato presente en el agua para riego, ocasiona problemas de corrosión en conductos fabricados con cemento.**



## **BORO (B)**

**No es aconsejable utilizar aguas que contienen concentraciones mayores de 2.5 mg/l de boro por ser tóxico para el cultivo**

**Algunos autores consideran que el limite permisible es de 0.5 mg/l.**

# ÍNDICES DE SEGUNDO GRADO



# RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS)

El ion sodio sustituye al calcio en los suelos, dando lugar a una dispersión de los agregados y a una pérdida de la estructura, presentando el suelo un aspecto pulverulento y amorfo, perdiendo su permeabilidad y capacidad de retención de agua.

Con valores de RAS superiores a 10, existe el riesgo de alcalinizar el suelo, siendo mayor cuanto mayor sea aquel valor. El índice RAS se estima con la siguiente ecuación.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{1/2 (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^+)}}$$



# **CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (CSR)**



**El índice de CSR da idea de la acción de degradación del suelo al aplicar el agua de riego. Se estima aplicando la siguiente ecuación:**

$$\text{CSR} = [\text{CO}_3^- + \text{CO}_3\text{H}^-] - [\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}]$$

# DUREZA

**La dureza se refiere al contenido de calcio. Aguas muy duras no son recomendables en suelos pesados.**

**Para disminuir la dureza del agua se deberá airear, esto produce la precipitación del calcio.**

**Se recomienda el uso de aguas muy duras; para recuperar suelos con problemas de sodicidad .**

**El grado de dureza se estima con la siguiente ecuación:**

$$\text{GHF} = \frac{\text{Mg/l Ca}^{++} \times 2.5 + \text{mg/l Mg}^{++} \times 4.12}{10}$$

**Donde:**

**GHF = Grados hidrotimétricos franceses**



# CUADRO 3. TIPO DE AGUA SEGUN SUS GRADOS HIDROTIMETRICOS FRANCESES (GHF)



## TIPO DE AGUA

## GHF

∞ **Muy dulce**

**Menos de 7**

∞ **Dulce**

**7 – 14**

∞ **Medianamente dulce**

**14 – 22**

∞ **Medianamente dura**

**22 – 32**

∞ **Dura**

**32 – 54**

∞ **Muy dura**

**Más de 54**

**FUENTE: CANOVAS J. (1986)**

## Ejemplo:

### El análisis del agua reporta

$$\bullet \text{Ca} = 3 \text{ me/l} \quad \text{ } \quad \bullet \text{Mg} = 2 \text{ me/l}$$

Pasar los iones a mg/l

$$\bullet \text{Ca} = 60 \text{ mg/l} \quad \bullet \text{Mg} = 24.32 \text{ mg/l}$$

$$[60 \times 2.5] + [24.32 \times 4.12]$$

$$\text{GHF} = \frac{\text{-----}}{10} = 25.02$$

El agua en estudio se clasifica como agua medianamente dura

# ÍNDICE DE SCOTT (COEFICIENTE ALCALIMÉTRICO) K.



**La altura del agua, en pulgadas. (1 pulgada = 2.54 cm), que después de la evaporación dejaría en el suelo; de cuatro pies de espesor (1 pie = 0.3048 m), álcali suficiente que impediría el desarrollo y crecimiento normal de cultivos sensibles.**

**Casos que se presentan**



## **1er. CASO:**

**Presencia de más cloruro del que se necesitaría para compensar con el ion sodio, producir la sal del cloruro sódico.**

**Si:  $\text{Na}^+ - 0.65 \text{Cl}^-$  es cero ó negativo.**

**Significa que:  $\text{Cl}^- \geq \text{Na}^+$       Donde:  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en me/l**

**Para estimar el índice de Scott. (K) la ecuación es:**

$$\mathbf{K = \frac{2040}{\text{Cl}^-}}$$

**Donde:  $\text{Cl}^-$  en mg/l. (miligramos/litro)**

## 2o. CASO

**Si:  $\text{Na}^+ - 0.65 \text{Cl}^-$  es positivo, pero no mayor que 0.48 ( $\text{SO}_4^{=}$ ), lo que significa que:**

$$\text{Cl}^- < \text{Na}^+ \leq (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=})$$

**Donde:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{SO}_4^{=}$  están expresados en me/l**

**El Coeficiente alcalimétrico (K) se calcula:**

$$K = \frac{6,620}{2.6 \text{Cl}^- + \text{Na}^+}$$

**Donde:  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  se expresan en mg/l**

### **3er. CASO:**

**Si:  $\text{Na}^+ - 0.65 \text{Cl}^- - 0.48 \text{SO}_4^{=}$  es positivo.**

**lo que quiere decir que**

$$\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=})$$

**Donde:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  expresados en me/l**

**El índice de SCOTT (K) se estima:**

$$K = \frac{662}{\text{Na}^+ - 0.32 \text{Cl}^- - 0.43 \text{SO}_4^{=}}$$

**Donde  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  se expresan en mg/l.**

# **CUADRO ÍNDICE DE SCOTT (K)**

<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>VALORES DE K</b>
<b>BUENA</b>	<b>MAYOR DE 18</b>
<b>TOLERANTE</b>	<b>18 – 6</b>
<b>MEDIOCRE (CONDICIONADA)</b>	<b>6 – 1.2</b>
<b>MALA</b>	<b>MENOR DE 1.2</b>

Fuente: CANOVAS J. (1986)



# **EJEMPLO**

**El análisis reporta**

**Sodio = 1 me/l = 23 mg/l**

**Cloruro = 2.4 me/l = 85.1 mg/l**

**Sulfato = 1.5 me/l = 72 mg/l**

**Clasificación según el Índice de Scott (K)**

**$\text{Na}^+ - 0.65 \text{Cl}^- < \text{cero o negativo}$**

$$1 - 0.65 \times 2.4 = 1 - 1.56 = -0.56 < 0; \text{ o bien:}$$

$$23 - 0.65 \times 85.1 = 23 - 55.31 = -32.31 < 0$$

**Por ser negativo corresponde al primer caso**

$$K = \frac{2040}{Cl^-} = \frac{2040}{85.1}$$

**Según el cuadro anterior: Se trata de agua buena, utilizable para riego**

# **CRITERIOS PARA CLASIFICAR LAS AGUAS PARA RIEGO**

**Los criterios para clasificar las aguas para riego, se basan en la combinación de dos o más índices de primer o segundo grado.**



# CRITERIO DE H. GREENE

**Se basa en la concentración Total de sales, expresada en miliequivalentes por litro con relación al porcentaje de sodio. Para estimar el porcentaje de sodio**

$$\% \text{ Na}^+ = \frac{\text{SODIO (me/l)}}{\text{SUMA TOTAL DE CATIONES(me/l )}} \times 100$$

# DIAGRAMA PARA CLASIFICAR LAS AGUAS, SEGÚN H. GREENE.

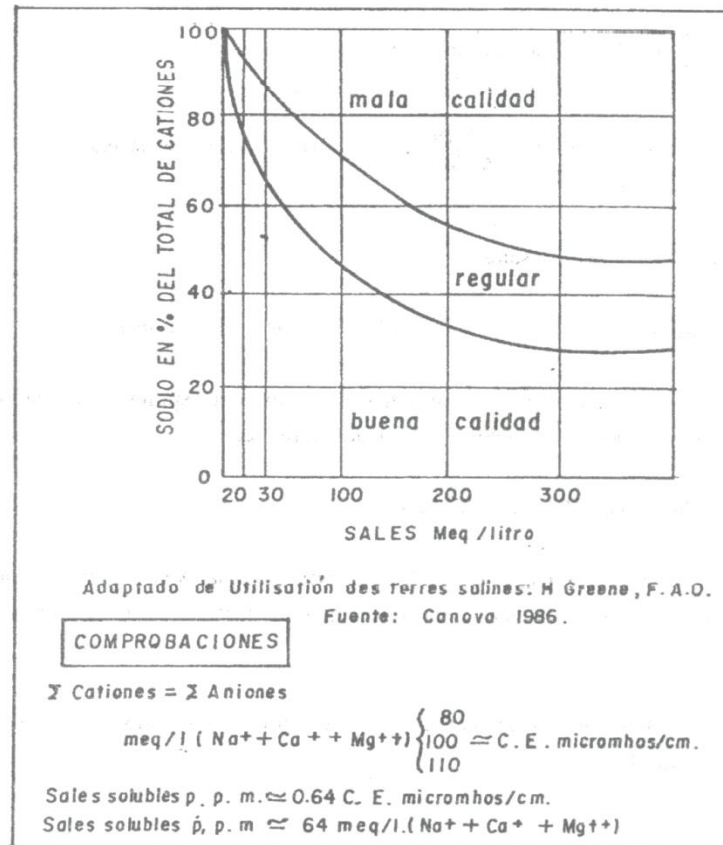


Figura 1.

# **CRITERIO DE L.V. WILCOX**

**Los índices que utiliza para la clasificación de las aguas son: el porcentaje de sodio respecto al total de cationes ( $\% \text{Na}^+$ ) y la conductividad eléctrica en micromhos/cm a  $25^{\circ}\text{C}$  . (Ver Fig. 2).**

# Ejemplo

**Los datos del análisis reporta:**

**CE = 660  
micromhos/cm**

**Suma total de  
cationes = 6.50  
me/l**

**Sodio = 1 me/l**

**1 me/l**

**% Na = -----x 100 = 15.38**

**6.50 me/l**



**LA CALIDAD DEL AGUA  
EN FUNCION DEL  
RIESGO DE  
ALCALINIZACION DEL  
SUELO (RELACION DE  
ADSORCION DE SODIO  
AJUSTADO: RASA)**

**Según Rhoades (1972) citado por Canovas (1986), desarrollo el índice de relación de adsorción de sodio ajustado (RASA) cuya ecuación es:**

$$\text{RASA} = \text{RAS} [1 + (8.4 - \text{pHc})]$$

**Donde:**

**RAS = Relación de Adsorción de Sodio**

$$\text{pHc} = (\text{pK}^1_2 - \text{pK}^1_c) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{ALK})$$

**CALCULO DE  $(\text{pK}^1_2 - \text{pK}^1_c)$ .**

**Sumar las concentraciones de Ca, Mg y Na, expresadas en me/l y con ésta suma se busca en el cuadro 5 el valor de  $(\text{PK}^1_2 - \text{pK}^1_c)$ .**

## Cuadro 5 Cálculo de $(pK^1_2 - pK^1_c)$

Suma de $Ca^{++}$ , $Mg^{++}$ y $Na^+$ (meq/l)	Valor de $(pK^1_2 - pK^1_c)$
0.05	2.0
0.10	2.0
0.15	2.0
0.20	2.0
0.25	2.0
0.30	2.0
0.40	2.0
0.50	2.1
0.75	2.1
1.00	2.1
1.25	2.1
1.50	2.1
2.00	2.2
2.50	2.2
3.00	2.2
4.00	2.2
5.00	2.2
6.00	2.2
8.00	2.3
10.00	2.3
12.50	2.3
15.00	2.3
20.00	2.4
30.00	2.4
50.00	2.5
80.00	2.5

## **CALCULO DE $p(\text{Ca} + \text{Mg})$ .**

**Sumar las concentraciones de los iones Ca y Mg expresadas en me/l. En el cuadro 6 se obtiene el valor de  $p(\text{Ca} + \text{Mg})$**



## Cuadro 6. Cálculo de p(Ca + Mg)

Suma de Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Valor de p(Ca + Mg)
0.05	4.6
0.10	4.3
0.15	4.1
0.20	4.0
0.25	3.9
0.30	3.8
0.40	3.7
0.50	3.6
0.75	3.4
1.00	3.3
1.25	3.2
1.50	3.1
2.00	3.0
2.50	2.9
3.00	2.8
4.00	2.7
5.00	2.6
6.00	2.5
8.00	2.4
10.00	2.3
12.50	2.2
15.00	2.1
20.00	2.0
30.00	1.8
50.00	1.5
80.00	1.4

## **CALCULO DE $p(\text{ALK})$ .**

**Sumar las concentraciones de  $\text{CO}_3$  y  $\text{HCO}_3$  expresadas en me/l. A continuación se busca en el cuadro 7 el correspondiente valor de  $p(\text{ALK})$ .**

## Cuadro 7. Cálculo de p(ALK)

Suma de $\text{CO}_3^{2-}$ y $\text{HCO}_3^-$ (meq/l)	Valor de p(ALK)
0.05	4.3
0.10	4.0
0.15	3.8
0.20	3.7
0.25	3.6
0.30	3.5
0.40	3.4
0.50	3.3
0.75	3.1
1.00	3.0
1.25	2.9
1.50	2.8
2.00	2.7
2.50	2.6
3.00	2.5
4.00	2.4
5.00	2.3
6.00	2.2
8.00	2.1
10.00	2.0
12.50	1.9
15.00	1.8
20.00	1.7
30.00	1.5
50.00	1.3
80.00	1.1

**Valores de  $\text{pH}_c$  mayores de 8.4, reducen el RASA y como consecuencia la tendencia del agua de riego es de disolver carbonatos del suelo disminuyendo el riesgo de alcalinización.**

**Pero si el  $\text{pH}_c$  tiene valores inferiores a 8.4 se da la tendencia contraria.**

**Para calificar el agua de riego según su riesgo de alcalinización del suelo, se considera la RASA y la conductividad eléctrica del agua. (ver cuadro 8 al 10).**



**Cuadro 8. Cuando el valor de la conductividad eléctrica, expresada a 25 °C, es inferior a 400 micromhos/cm.**

<b>RASA</b>	<b>Calificación</b>
<b>Menor de 6</b>	<b>No hay riesgo de alcalinización</b>
<b>Entre 6 y 9</b>	<b>Moderado riesgo de alcalinización</b>
<b>Mayor de 9</b>	<b>Grave riesgo de alcalinización</b>

**Cuadro 9. Cuando el valor de la conductividad eléctrica, expresada a 25 °C, esta comprendida entre 400 micromhos/cm y 1 600 micromhos/cm.**

<b>RASA</b>	<b>Calificación</b>
<b>Menor de 8</b>	<b>No hay riesgo de alcalinización</b>
<b>Entre 8 y 16</b>	<b>Moderado riesgo de alcalinización</b>
<b>Mayor de 16</b>	<b>Grave riesgo de alcalinización</b>

## **Cuadro 10. Cuando el valor de la conductividad eléctrica, expresada a 25 °C, es mayor de 1 600 micromhos/cm.**

<b>RASA</b>	<b>Calificación</b>
<b>Menor de 16</b>	<b>No hay riesgo de alcalinización</b>
<b>Entre 16 y 24</b>	<b>Moderado riesgo de alcalinización</b>
<b>Mayor de 24</b>	<b>Grave riesgo de alcalinización</b>

**RASA: Relación de adsorción de sodio ajustado**

## Ejemplo

**Los valores del análisis de aguas reportan**

<b>Calcio</b>	<b>3 meq/l</b>
<b>Magnesio</b>	<b>2 meq/l</b>
<b>Sodio</b>	<b>1 meq/l</b>
<b>Bicarbonatos</b>	<b>1.8 meq/l</b>
<b>Carbonatos</b>	<b>0 meq/l</b>
<b>CEx10<sup>6</sup> a 25°C</b>	<b>660 micromhos/cm</b>

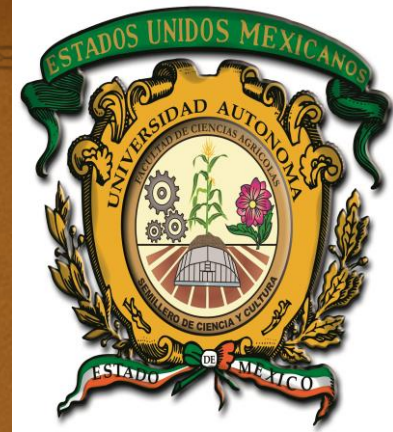
**Calcular el RASA e interpretar en función del riesgo de alcalinización del suelo**





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



GRACIAS

